植物對氟化物、硫氧化物及氯化物之反應

Responses of Plants to the Pollutants of Fluorides, Sulfur Oxides and Chlorides

謝 慶 芳

Ching-Fang Hsieh

臺中區農業改良場

Taichung District Agriculture Improvement Station

摘 要

植物對氟化物之反應因種類之不同而差異很大，唐菖蒲、香蕉、落花生、茄苳、橄欖、槭、楓等都屬於敏感性植物，在長期連續污染之情況下，空氣中1～2 ppb氟化氫即可使其葉緣及葉尖發生黃化或枯死症狀，但榕樹、印度橡膠樹、夾竹桃、構樹、蓖麻等則抵抗性很强，植物體中雖然已經含有高濃度之氟，但葉片仍然沒有出現受害症狀。氟化物污染在植物體內有累積性，所以植物體分析結果都以下葉含量較高，做為判斷污染之資料也較為可靠。

植物對硫氧化物之反應也因種類不同而有很大差別，在300至600 ppb SO_2之薰蒸室內，落花生、甘藷、蕹菜、甘藍、香蕉等都未出現明顯之受害症狀，而水稻、胡麻、心臟葉牽牛、唐菖蒲、番石榴等都於數天內於葉片上面出現褐色斑點。在連續30天，每天薰蒸8小時的情況下，植株上部成熟葉片可溶性SO_4濃度之測定似可用以偵測環境是否遭受低濃度硫氧化物之長期污染。

氯氣主要使植物葉片發生退色現象，嚴重時葉緣和葉尖也會枯死，但葉片之含氯量並不一定會顯著增加。氯化鈉污染可使植物體之氯和鈉含量顯著增加，但葉片不一定會出現明顯之受害症狀，因此植物是否遭受氯氣或氯化鈉為害，根據植物葉片出現之症狀和植物體之化學分析結果即可加以判斷。

關鍵詞：氟化物，硫氧化物，氯化物，毒害症狀，化學分析

ABSTRACT

The responses of plants to fluorides differed greatly with plant species. Gladiolus, banana, peanut, *Bischofia javanica, Canarium album, Acer trifolium,* and *Liquidambar formosana* were attributed to sensitive plants. Under the long-term polluted environment at 1～2 ppb of HF, the above plants showed the symptom of chlorosis or burn on the edge or tip of the leaves. However, *Ficus microcarpa, Ficus elastica, Nerium oleander, Broussonetia papyrifera,* and *Ricinus communis* were the tolerant plants that didn't show any symptom even high concentration of fluorine was in the plant. As fluorides were accumulative in the plants, higher concentration of fluorine was usually found in the lower leaves of the plants, and the analysis of the lower leaves may provide a more reliable data for the detection of the pollution of fluorides.

The responses of plants to sulfur oxides also differed with plant species. Under the fumigation with 300～600 ppb of SO_2, peanut, sweetpotato, water convolvulus, cabbage, and banana didn't show clear injury symptom. However, different size and form of brown spots appeared on the leaves of lowland rice, sesame, morning glory (heart leaves), gladiolus and guave after several days of fumigation. After every 8 hour's fumigation for 30 consecutive days, a substantial concentration of soluble SO_4 was detected in the top matured leaves of fumigated than those in the check. This suggested that analysis of the soluble SO_4 in the top matured leaves may be a useful way for the detection of the pollution of the lower concentration of sulfur oxides.

Chlorine gas mainly caused discoloration of the leaves; in the severe case, the plants showed edge or tip burn. However, the chlorine content in the plant was not significantly increased. Six hundreds and 900 ppm sodium chloride spray caused significant increase of sodium and chlorine in the plants, whereas the plants didn't show significant symptom on the leaves. These data suggested that the data of leaf symptoms and plant analysis may be utilized for the identification of either chlorine gas injury or sodium chloride pollution.

Key words: Fluorides, sulfur oxides, chlorides, toxicity symptoms, chemical analysis

前　　言

氟化物爲陶瓷、磚瓦、珐瑯、玻璃、磷酸、磷肥、煉鋁等工廠的主要空氣污染物之一，由於它對植物的毒性特別强，通常空氣中只有幾個ppb 就可使一些敏感性植物產生明顯的傷害症狀。因而它是一種很難澈底防治而受害面積往往都很大的空氣污染物。根據過去一些學者之研究，氟化物主要從氣孔進入葉片後即轉移至導管，順著蒸散流至葉緣累積爲害植物，所以受害部位都在葉緣和葉尖，並隨著時間的增加而愈積愈多，因而一般植物下葉的含氟量

多數高於上葉。

燃燒含硫物質如煤炭及各種石化燃料等都會排放二氧化硫和其他硫氧化物於空氣中。重油是最低廉的石化燃料，所以各行各業使用最為普遍，由於其含硫量也特別高，造成硫氧化物污染也最嚴重。二氧化硫從氣孔進入葉片之後主要在氣孔附近破壞其附近之細胞，很少再進一步移動到其他部位，其為害機制有硫酸學說和甲醛學說，前者認為二氧化硫進入葉片後即被氧化成硫酸，後者則認為與甲醛結合而形成有害物質以破壞葉片組織。至於其為害植物之濃度標準則仍然不甚明確，也許與試驗研究資料尚不夠充分，而各地之植物種類與氣候環境條件不同有關。

氯氣之主要來源為食鹽之電解、鹽酸之合成、氯化鐵之製造、活性碳之製造、氯化乙烯之製造或氯氣儲運槽開關之損壞等均會產生氯氣污染，近來已經時常發生，而其污染常以急性為害較多。

氯化鈉之主要污染源則有海岸地區之鹽水霧、海水倒灌、蜜餞工廠之排放水等。

本試驗之主要目的在研究植物遭受氟化物、硫氧化物及氯化物等三種空氣污染物污染後所產生外觀症狀之變化和植物成份之不同，以供空氣污染防治之參考。

材料與方法

氟化物試驗田緊鄰花壇鄉磚廠集中地區南邊。土壤屬於微酸性壤質粘板岩老沖積土，土壤肥力分析結果：質地為壤土，pH 6.0，EC 0.74 mmhos/cm，OM 2.74％，可萃取性 SO_4-S 74 ppm，F 4.2 ppm，K 106 ppm，Na 72 ppm，Ca 1054 ppm，Mg 260 ppm，Fe 710 ppm，Mn 140 ppm ，Zn 2.4 ppm，Cu 5.5 ppm。該地區之主要空氣污染物為燒磚過程中所產生之廢氣和煙灰。煙灰降落在葉片表面，不會直接傷害作物，但會遮擋陽光而影響作物之光合作用，或沾污果樹、蔬菜、花卉表面而影響其品質。廢氣有氟化氫、二氧化硫和其他氣體，但一些敏感性作物所產生之葉尖枯死症狀主要是氟化氫所引起。

距離試驗田約40公尺處設有一處空氣污染物測定站，內有氟化氫與二氧化硫測定儀各一部，由臺灣省環境保護處長期連續測定空氣中氟化氫和二氧化硫濃度。

全部試驗計選擇13種常見之防風和庭園樹木，以每一種樹木為一個處理分別種植以觀察其生長和葉片反應症狀。試驗設計採用逢機完全區集排列，重複三次，每小區種植12株。

種植全部成活後即於適當時期開始拍攝各種樹木之受害症狀，並採樣分析植物體中鹽基性元素鈣、鎂、鈉、鉀以及陰離子硫酸、氯、氟等污染物含量。

鹽基性元素以AR級硫酸和過氧化氫將植物體消化後分別以原子吸光儀和火焰光度計測定。可溶性硫酸離子是以0.01M HCL萃取後以barium chloranilate法測定，氯離子是以濃硫酸將植物體消化並經KOH吸收後以mercuric nitrate 法滴定，氟離子則以1N鹽酸萃取後以電極法測定。

硫氧化物試驗是一個模擬燃燒重油產生廢氣污染之環境進行，試驗用的塑膠室、長50m，寬6m，四周圍以2.4m高之透明塑膠布，頂部覆蓋一層尼龍網，並從中間以塑膠布分隔為二

間，其中一間只供放置盆栽植物做爲對照，另一間裝設一台重油燃燒機及煙囪，使燃燒重油產生之廢氣擴散至全薰蒸室。

試驗植物有水稻、落花生、胡麻、甘藷、蕹菜、甘藍、香蕉、番石榴、牽牛、唐菖蒲等約20多種植物。這些植物均以事先混合均勻之土壤種植於直經約30cm之植缽中。到60天左右就開始以燃燒重油產生之廢氣薰蒸，早上與下午各薰蒸4小時，同時開始觀察葉片症狀之變化。薰蒸室中央接近試驗植物上部(離地面約70cm處)裝設二氧化硫偵測頭一個，以二氧化硫測定儀連續測定薰蒸室內二氧硫濃度之變化。連續薰蒸30天之後即開始採取各種植物之上葉、下葉或全株，先以自來水沖洗後再以蒸餾水洗一次，即予烘乾磨粉，進行礦物成分之分析工作。植物體採樣分析方法都與氟化物試驗相同。

氯化物試驗主要以氯氣薰蒸並以氯化鈉噴施唐菖蒲、落花生、蕨菜、葡萄等各種作物，以觀察其症狀之變化，並採取植物體以分析其鹽基性元素鈣鎂鈉鉀及可萃取性陰離子SO_4^{-2}，F^{-1}，和Cl^-等，以供研究分析氯氣及氯化鈉對作物之影響。

試驗前，先將植物種植於植缽中，到完全成活並有適當高度時即送進薰蒸箱內，開始以盡量低濃度之氯氣薰蒸，每天從上午九時開始至上午十二時，下午是從二時開始至五時止，每日薰蒸六小時連續薰蒸6天。薰蒸結束後先拍攝作物葉片出現之症狀，並調查作物生長情形，將上葉、下葉、全株分開烘乾、磨粉後，進行化學分析。植物體採樣分析方法與氟化物試驗相同。

薰蒸室是以壓克力板製成，上面開三個孔通往氯氣桶，兩邊各裝設一個小型吹風機使氯氣進入後容易混合均勻，下面開一個通往抽風機之排氣孔，以便調節薰蒸室內之空氣狀態。植缽之栽培介質，一半是清水洗過之粗溪砂，另一半是廢棄太空包鋸屑(2/3)與穀殼(1/3)混合而成之材料，移植或播種前，內徑25cm之植缽施下骨粉、豆餅和碳酸鈣各5公克，氧化鎂2公克，然後灌水，經過二星期後開始使用。氯化鈉則將600 ppm和900 ppm之氯化鈉分別裝入噴霧器內模擬鹽水風噴施於植物體上部，每二天噴一次，連續二星期。

結果與討論

(一)氟化物

從試驗植物外表出現之症狀和植物體分析結果(表1a至1f)可以發現本地區對作物影響最大之主要空氣污染物爲氟化物。其次爲硫氧化物(SOx)、煙灰，並可能有不少氮氧化物(NOx)，但後者因未測定而無法知道其濃度。大氣中之氟化氫濃度雖然都不高，但已經使試驗植物香蕉、大葉桉、茄苳、橄欖、楓樹、槭樹等產生明顯之受害症狀，葉尖或葉緣枯死，楓樹和槭樹葉片則容易脫落。從圖1.1至1.6可以發現十一月至十二月份之氟化氫濃度最高達到15 ppb，但此高濃度之時間非常短暫，可能是空氣流速較快之關係，一至三月間氟化氫濃度約3～6 ppb左右，非常穩定，對植物之影響很大，特別是一月間，多數時間是在5～6 ppb左右，植物受害症狀最爲嚴重，植物體化驗結果也以一月份最高，至於四月～十月間多數時間是

在1～2 ppb 左右，但一些敏感性植物也出現明顯的受害症狀，植物體化驗結果雖然較一月份低很多，但其含量仍較一般作物正常含量(30 ppm以下)高出很多，表示四月～十月間空氣中1～2 ppm的氟化氫仍對植物有明顯之影響。另一方面所有試驗植物之葉片分析結果均顯示植物葉片中之含氟量，都是下葉較上葉高出很多，表示氟在植物體中有明顯的累積現象。

Table 1a. Chemical analysis for the leaves of banana@@.

Dates sampled mon./day		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
		%					%				
01.12	UL@	0.36	0.40	0.24	2.24	3.24	1.83	1.00	0.0237	2.8537	88
	LL	0.70	0.51	0.26	2.15	3.62	2.31	0.90	0.0981	3.3081	91
04.19	UL	0.23	0.36	0.24	2.76	3.59	2.34	0.49	0.0036	2.8336	79
	LL	0.95	0.49	0.24	2.29	3.97	2.52	0.92	0.0201	3.4601	87
06.19	UL	1.08	1.09	0.70	2.32	5.19	1.41	0.86	0.0114	2.2814	44
	LL	0.83	0.79	0.47	1.43	3.52	1.20	0.79	0.0166	2.0066	57
08.19	UL	0.78	0.62	0.55	1.58	3.53	0.63	0.83	0.0177	1.4777	42
	LL	0.83	0.58	0.63	1.89	3.93	0.57	0.79	0.0238	1.3838	35
10.19	UL	0.65	0.57	0.83	2.28	4.33	0.69	0.90	0.0287	1.6187	37
	LL	0.72	0.63	0.86	2.28	4.49	0.84	0.76	0.0294	1.6294	36

@ UL：upper leaves, LL：lower leaves. @@ The figures in the table are the averages of three replications.

Table 1b. Chemical analysis for the leaves of Eucalyptus@@.

Dates sampled mon./day		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
		%					%				
01.12	UL@	0.60	0.27	0.34	0.88	2.09	2.37	0.68	0.0991	3.1491	151
	LL	0.72	0.35	0.39	0.80	2.26	2.16	0.44	0.1310	2.7310	121
04.19	UL	0.81	0.36	0.34	0.85	2.36	2.97	0.44	0.0789	3.4889	148
	LL	0.91	0.42	0.35	0.72	2.40	2.76	0.30	0.1695	3.2295	136
06.19	UL	0.96	0.80	0.52	0.88	3.16	1.05	0.42	0.0335	1.5035	48
	LL	1.21	0.82	0.53	0.65	3.21	1.02	0.56	0.1675	1.7475	54
08.19	UL	0.83	0.42	0.66	0.93	2.84	0.24	0.62	0.1195	0.9795	35
	LL	0.86	0.36	0.61	0.87	2.70	0.27	0.76	0.1815	1.2115	45
10.19	UL	0.92	0.38	0.64	0.95	2.89	0.72	0.65	0.0776	1.4476	50
	LL	1.02	0.38	0.62	0.87	2.89	0.69	0.54	0.1355	1.3655	47

@ and @@：See table 1a.

Table 1c. Chemical analysis for the leaves of *Bischofia javanica* @@.

Dates sampled mon./day		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
		——— % ———					——— % ———				
01.12	UL@	0.81	0.47	0.29	2.03	3.60	2.61	0.49	0.0524	3.1524	88
	LL	1.24	0.70	0.29	1.72	3.95	3.27	0.59	0.1180	3.9780	101
04.19	UL	0.46	0.53	0.25	2.18	3.42	3.48	0.46	0.0079	3.9479	115
	LL	1.33	0.72	0.37	2.08	4.50	3.36	0.39	0.0694	3.8194	85
06.19	UL	0.38	0.94	0.79	2.55	4.66	1.08	0.55	0.0015	1.6315	35
	LL	1.07	1.06	0.65	1.91	4.69	1.44	0.70	0.0204	2.1604	46
08.19	UL	0.88	0.58	0.85	2.29	4.60	0.78	0.48	0.0385	1.2985	28
	LL	1.02	0.74	0.75	2.00	4.51	0.81	0.66	0.0309	1.5009	33
10.19	UL	0.64	0.52	0.90	2.33	4.39	1.71	0.69	0.0220	1.8820	43
	LL	1.43	0.71	0.79	1.85	4.78	1.32	0.83	0.0636	2.2136	46

@ and @@ : See table 1a.

Table 1d. Chemical analysis for the leaves of *Canarium album* @@.

Dates sampled mon./day		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
		——— % ———					——— % ———				
01.12	UL@	0.88	0.36	0.15	0.85	2.24	2.55	0.28	0.0372	2.8672	128
	LL	1.00	0.34	0.21	0.57	2.12	2.13	0.10	0.0523	2.2823	108
04.19	UL	0.72	0.30	0.15	1.16	2.33	2.73	0.16	0.0103	2.9003	125
	LL	1.13	0.31	0.14	0.75	2.33	3.33	0.23	0.0230	3.5830	154
06.19	UL	0.59	0.85	0.41	1.19	3.04	1.32	0.12	0.0013	1.4413	47
	LL	1.13	0.97	0.37	0.94	3.41	1.50	0.14	0.0049	1.6449	48
08.19	UL	0.66	0.38	0.42	1.13	2.59	0.21	0.10	0.0035	0.3135	12
	LL	0.86	0.37	0.34	0.92	2.49	0.27	0.13	0.0040	0.4040	16
10.19	UL	0.91	0.37	0.39	1.00	2.67	0.78	0.23	0.0137	1.0237	38
	LL	1.03	0.39	0.36	0.93	2.71	0.78	0.20	0.0139	0.9939	37

@ and @@ : See table 1a.

Table 1e. Chemical analysis for the leaves of *Ficus microcarpa* @@.

Dates sampled mon./day		Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} soluble (%)	Cl^{-1} (%)	F^{-1} (%)	Total anion	Anions as% of basic element
01. 12	U L@	1. 79	1. 39	0. 23	1. 69	5. 10	2. 52	0. 32	0. 0419	2. 8819	57
	L L	2. 07	0. 52	0. 28	1. 79	4. 66	2. 94	0. 58	0. 0693	3. 5893	77
04. 19	U L	1. 50	0. 40	0. 22	2. 10	4. 22	2. 16	0. 42	0. 0161	2. 5961	62
	L L	2. 19	0. 40	0. 22	1. 84	4. 65	3. 21	0. 25	0. 0396	3. 4996	75
06. 19	U L	2. 06	0. 94	0. 70	2. 26	5. 96	1. 08	0. 33	0. 0151	1. 4251	24
	L L	2. 20	1. 95	0. 63	2. 01	6. 79	1. 41	0. 35	0. 0164	1. 7764	26
08. 19	U L	1. 51	0. 58	0. 67	1. 91	4. 67	4. 02	0. 28	0. 0170	4. 3170	92
	L L	1. 46	0. 62	0. 73	2. 05	4. 86	4. 05	0. 51	0. 0313	4. 5913	95
10. 19	U L	2. 06	0. 74	0. 74	1. 36	4. 90	0. 93	0. 49	0. 0272	1. 4472	30
	L L	2. 27	0. 63	0. 78	1. 40	5. 08	0. 90	0. 56	0. 0424	0. 5024	30

@ and @@ : See table 1a.

Table 1f. Chemical analysis for the leaves of *Ficus elastica* @@.

Dates sampled mon./day		Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} soluble (%)	Cl^{-1} (%)	F^{-1} (%)	Total anion	Anions as% of basic element
01. 12	U L@	1. 65	0. 43	0. 19	1. 82	4. 09	2. 88	0. 91	0. 0368	3. 8268	94
	L L	1. 94	0. 55	0. 17	1. 70	4. 36	3. 00	1. 38	0. 0310	4. 4110	101
04. 19	U L	0. 75	0. 35	0. 20	2. 26	3. 56	2. 25	0. 71	0. 0081	2. 9681	83
	L L	1. 51	0. 51	0. 17	1. 80	3. 99	3. 48	0. 67	0. 0612	4. 2112	106
06. 19	U L	1. 06	0. 89	0. 64	2. 13	4. 72	0. 93	0. 33	0. 0042	1. 2642	27
	L L	2. 29	0. 98	0. 40	1. 17	4. 84	1. 65	1. 11	0. 0460	2. 8060	58
08. 19	U L	1. 39	0. 48	0. 71	2. 04	4. 62	0. 27	0. 39	0. 0110	0. 6710	15
	L L	1. 85	0. 50	0. 34	0. 94	3. 63	0. 75	0. 97	0. 0621	1. 7821	49
10. 19	U L	1. 41	0. 50	0. 71	1. 94	4. 56	1. 11	0. 42	0. 0186	1. 5486	34
	L L	2. 21	0. 58	0. 42	1. 10	4. 31	1. 17	0. 88	0. 0597	2. 1097	49

@ and @@ : See table 1a.

空氣中二氧化硫(SO_2)濃度只有一月份約半個月超過100ppb，3～4月份有很多時間在100 ppb 左右，其他月份多數在100 ppb以下(圖1.1至1.6)，但所調查15種植物均未出現遭受二氧化硫爲害症狀，表示空氣中二氧化硫濃度在100 ppb左右尚不致於對一般植物造成明顯的可視性傷害，但葉片中化學性已經發生明顯之變化，因其可溶性硫酸離子濃度多數已經急速上升至

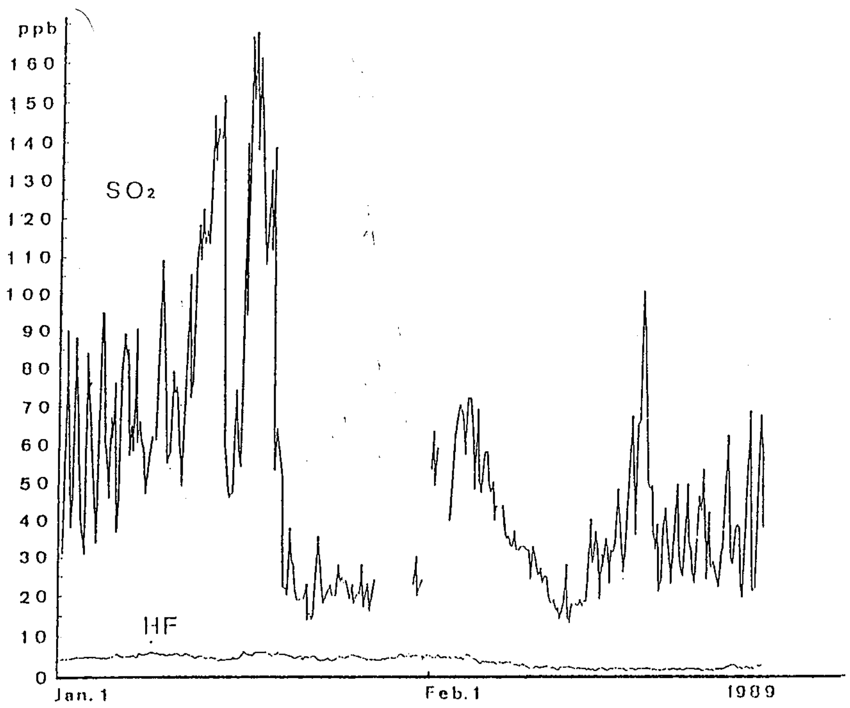

Fig. 1.1 The SO_2 and HF in the air near the area of experiment plots during Jan. -Feb., 1989.

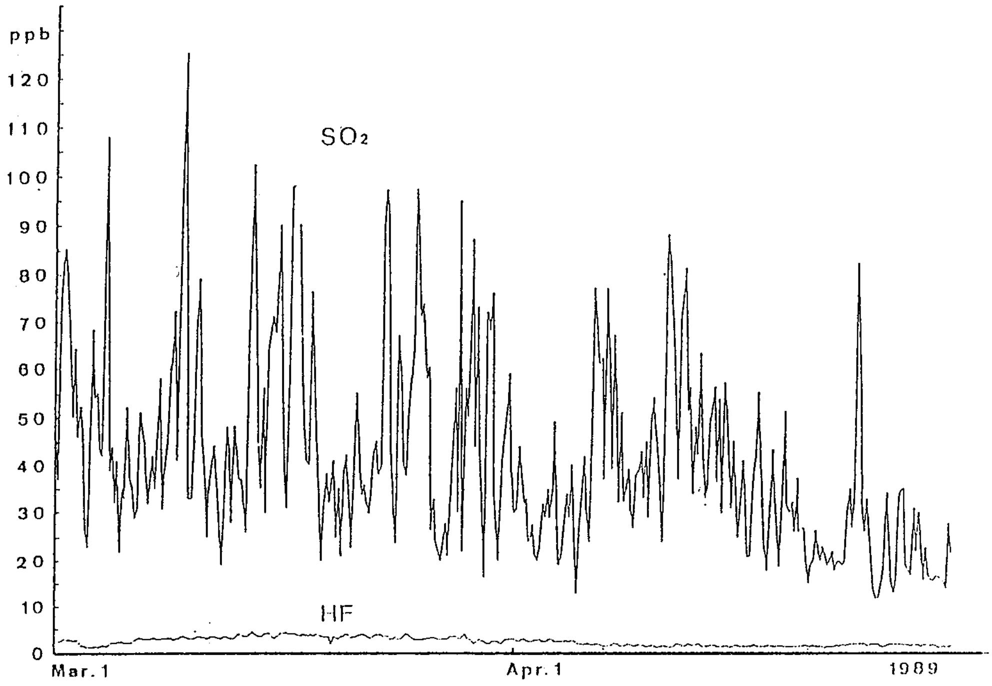

Fig. 1.2 The SO_2 and HF in the air near the area of experiment plots during Mar. -Apr., 1989.

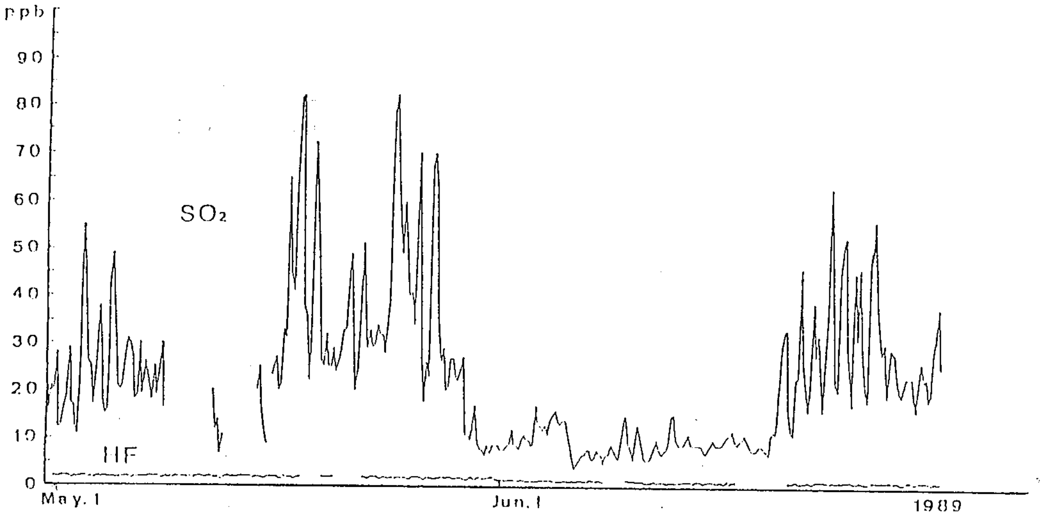

Fig. 1.3 The SO_2 and HF in the air near the area of experiment plots during May. -Jun., 1989.

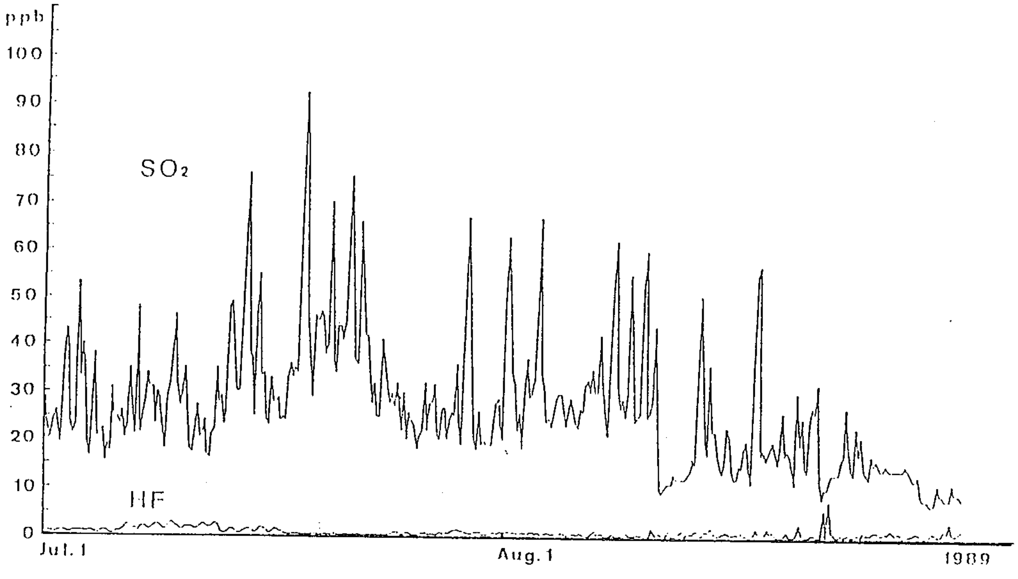

Fig. 1.4 The SO_2 and HF in the air near the area of experiment plots during Jul. -Aug., 1989.

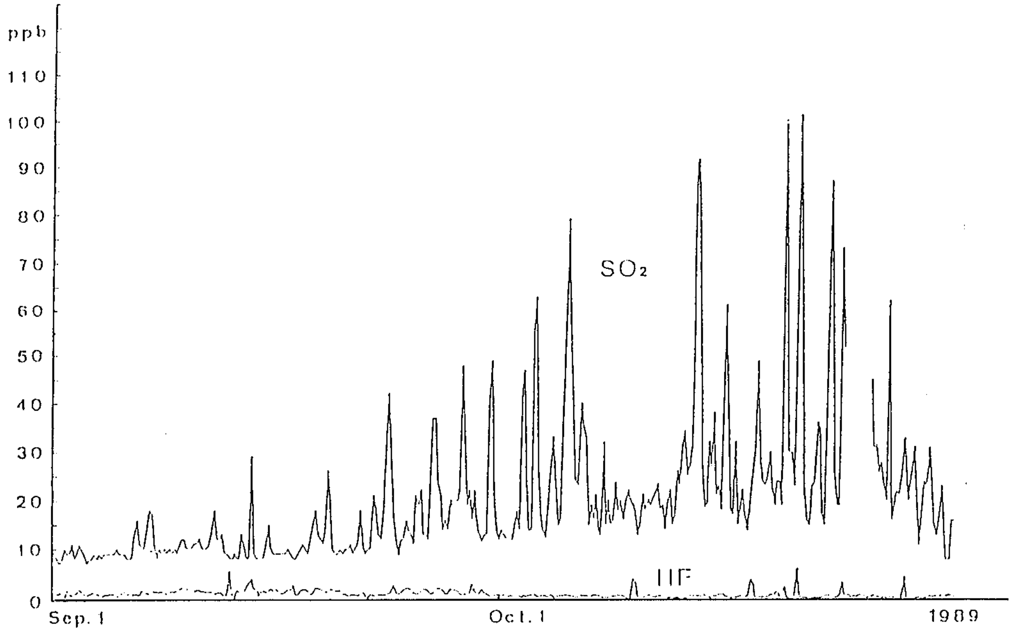

Fig. 1.5 The SO_2 and HF in the air near the area of experiment plots during Sep. -Oct., 1989.

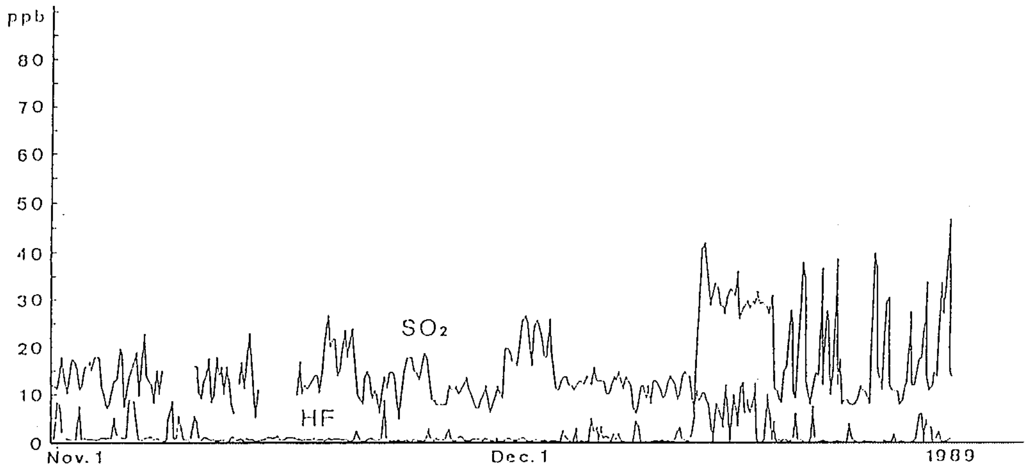

Fig. 1.6 The SO_2 and HF in the air near the area of experiment plots during Nov. -Dec., 1989

2％以上，所有調查植物葉片中可溶生硫酸離子(SO_4^{-2})濃度除榕樹可能受到採樣部位之影響而稍有不同之外，其餘各種植物之濃度都以1～4月份較高，而6～10月份較低(表1a至1f)，從表中可以發現無論上葉下葉1～4月份之可溶性SO_4含量都在2％以上，而6～10月份都在2％以下，兩者相差約一倍。此點與1～4月份空氣中二氧化硫(SO_2)含量較高，6～10月空氣中二氧化硫(SO_2)含量較低有明顯關係，前者之空氣中二氧化硫濃度多數時間是在50～100 ppb左右，而最高達到167 ppb，後者多數時間是在50 ppb以下。

植物體中鈣、鎂、鈉、鉀等鹽基性元素總和之季節性變化很小，但硫酸、氯、氟等陰離子總和之季節性變化卻很大。在空氣污染較少之六月至十月間，陰離子總和較鹽基性元素總和低很多，前者都在後者之60％以下，但在污染較嚴重之一月至四月間，兩者都非常接近，而前者至少都在後者之60％以上，主要是SO_4^{-2}離子之大量增加。

綜合以上資料可以說，空氣中 SO_2 100 ppb，植物葉片中可溶性SO_4^{-2} 2％以上，陰離子總和超過鹽基性元素總和之60％以上，爲本地區大氣明顯遭受硫氧化物污染之信號。

試驗期間榕樹、印度橡膠樹、夾竹桃、構樹(*Broussonetia papyrifera*)、蓖麻(*Ricinus commuins*)等都未發現明顯之症狀，植株生長正常，屬於抗氟性强的植物。

(二)硫氧化物

薰蒸期間，薰蒸室內之二氧化硫濃度多數保持在300～600 ppb 之間(圖2.1)，植物對燃燒重油所產生廢氣之反應因種類不同而有很大的差別，在上述二氧化硫濃度下落花生、甘藷、蕹菜、甘藍、香蕉等都未出現明顯之受害症狀，但水稻、番石榴、心臟葉牽牛、唐菖蒲、胡麻等都較爲敏感，於數天內葉片上面即出現大小不同之褐色斑點。

從三個不同植物體部位，上葉、下葉和全株之分析結果，發現對照與薰蒸處理間，下葉和全株所含多數元素與陰離子都沒有一定的差異關係，也就是說，有時薰蒸處理較高，有時對照處理較高，不但因元素或陰離子而異，而且因作物種類而不同，但上部成熟葉片之可溶性硫酸離子($SO4^{2-}$)卻都是薰蒸處理較高，而且多數高出一倍以上，水稻臺農67號對照處理1. 26％而薰蒸處理爲2.94％，臺中秈10號對照處理1.86％而薰蒸處理爲6.99％(表2a)；落花生對照0.18％而薰蒸處理爲0.45％，甘藷對照0.30％而薰蒸處理爲1.65％(表2b)；蕹菜對照0. 45％而薰蒸處理1.17％，甘藍對照3.72％而薰蒸處理爲5.22％(表2c)；香蕉對照0.27％而薰蒸處理爲0.33％，番石榴對照0.06％而薰蒸處理爲0.24％(表2d)；牽牛對照0.30％而薰蒸處理爲0.48％，唐菖蒲對照0.27％而薰蒸處理爲1.26％(表2e)；胡麻對照0.66％而薰蒸處理爲1.53％(表2f)。上述結果顯示，在30天長期遭受含300～600 ppb 二氧化硫重油廢氣污染的環境下，各種作物上部成熟葉片之可溶性硫酸離子含量都極明顯地增加，所以只要我們在同一條件栽培同一種植物，其中一部分放置在未遭受污染之環境，另一部分放置在可能遭受污染之環境，到相當時間之後採取雙方之上部成熟葉片化驗其可溶性硫酸離子含量，即可知道該環境是否遭受污染。

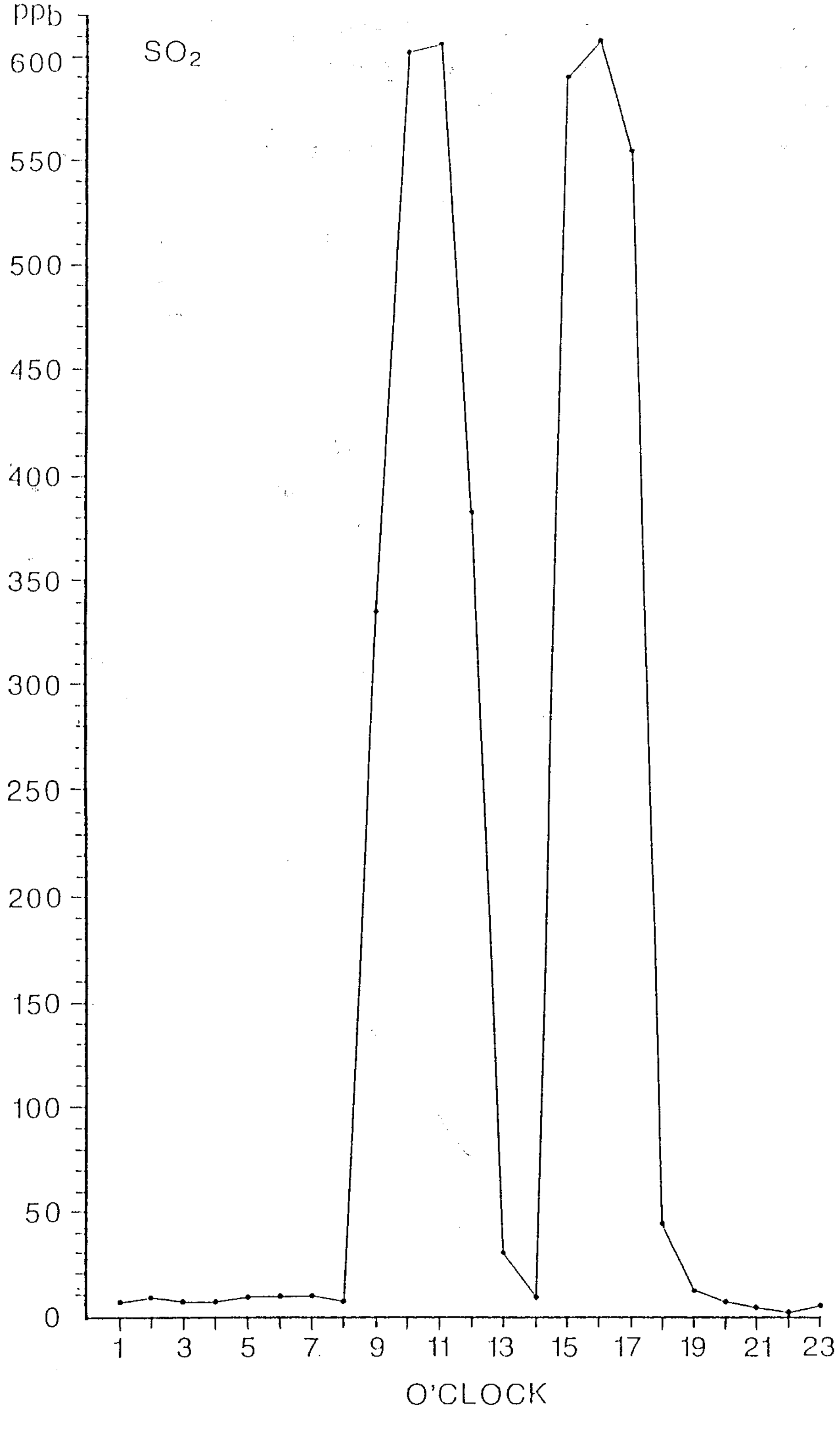

Fig. 2.1 The concentration of SO_2 during the treatment period.

Table 2a. Chemical analysis for the plants of lowland rice @ @.

Plants	Treat-ments		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
			%					%				
Tainung 67	Control	UL@	0.68	0.41	1.61	1.92	4.62	1.26	2.0	0.0014	3.2614	70.6
		LL	1.20	0.63	2.52	1.95	6.30	6.39	3.7	0.0021	10.0921	160.2
	Fumi-gated	UL	0.58	0.68	1.32	1.35	3.93	2.94	1.2	0.0028	4.1428	105.4
		LL	1.08	0.63	1.97	1.15	4.83	4.26	1.9	0.0052	6.1652	127.6
Taichung Sen 10	Control	UL	0.79	0.67	1.77	2.06	5.29	1.86	2.3	0.0055	4.1655	78.7
		LL	0.94	1.06	3.15	2.12	7.27	11.82	3.5	0.0015	15.3215	210.7
	Fumi-gated	UL	0.84	0.57	1.65	1.79	4.85	6.99	1.3	0.0026	8.2926	171.0
		LL	1.27	0.79	2.33	1.15	5.54	7.05	1.5	0.0047	8.5547	154.4

@ UL : upper matured leaves, LL : lower leaves, WP : whole plants.

@ @ The figures in the table are the average of three replicatioins.

Table 2b. Chemical analysis for the plants of peanut and sweet potato @ @.

Plants	Treat-ments		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
			%					%				
Peanut	Control	UL@	1.48	0.40	0.67	1.28	3.83	0.18	0.67	0.0071	0.8571	22.4
		LL	2.51	0.74	0.64	1.12	5.01	0.63	1.11	0.0017	1.7417	34.8
		WP	1.40	0.45	0.60	1.00	2.46	0.18	0.57	0.0033	0.7533	30.6
	Fumi-gated	UL	1.53	0.47	0.70	1.39	4.09	0.45	0.39	0.0012	0.8412	20.6
		LL	2.10	0.99	0.57	1.03	4.69	0.93	0.78	0.0020	1.7120	36.5
		WP	1.27	0.58	0.67	1.22	3.74	0.30	0.30	0.0014	0.6014	16.1
Sweet potato	Control	UL	1.16	0.46	1.26	2.59	5.47	0.30	0.30	0.0012	0.9212	16.8
		LL	1.31	1.48	1.29	2.38	5.46	0.75	0.75	0.0007	1.4507	26.6
	Fumi-gated	UL	0.81	0.86	1.58	3.30	6.55	1.65	1.65	0.0010	2.5610	39.1
		LL	2.45	1.13	1.35	2.45	7.38	1.15	1.15	0.0012	2.3612	32.0

@ and @ @ : Please see table 2a.

Table 2c. Chemical analysis for the plants of water convolvulus and cabbage@@.

Plants	Treatments		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
			%					%				
Water convol-vulus	Control	UL@	2.11	0.37	1.72	1.61	5.81	0.45	1.16	0.0017	1.6117	27.7
		LL	2.74	0.51	2.07	1.25	6.57	0.66	1.22	0.0011	1.8811	28.6
		WP	2.71	0.49	1.41	0.91	5.52	1.32	1.08	0.0025	2.4205	43.5
	Fumi-gated	UL	1.74	0.35	2.15	2.15	6.39	1.17	1.22	0.0011	2.3911	37.4
		LL	2.16	0.55	2.25	1.17	6.13	1.29	1.32	0.0015	2.6115	42.6
		WP	2.13	0.54	1.72	1.19	5.58	1.56	1.18	0.0011	2.7411	49.1
Cabbage	Control	UL	0.74	0.29	1.51	2.24	4.78	3.72	0.60	0.0007	4.3207	90.4
		LL	4.24	0.57	1.77	0.83	7.41	7.23	2.66	0.0030	9.8930	133.5
	Fumi-gated	UL	1.48	0.34	1.90	2.93	6.65	5.22	1.00	0.0008	6.2208	93.5
		LL	4.73	0.57	2.16	1.97	9.43	7.05	2.22	0.0015	9.2715	98.3

@ and @@ : Please see table 2a.

Table 2e. Chemical analysis for the plants of banana and guava@@

Plants	Treatments		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
			%					%				
Banana	Control	UL@	0.70	0.47	1.81	3.87	6.85	0.27	0.67	0.0007	0.9407	13.7
		LL	2.28	0.98	0.77	1.31	5.34	0.72	1.24	0.0022	0.9622	36.7
	Fumi-gated	UL	1.11	0.35	1.58	3.53	6.57	0.33	0.70	0.0006	1.0306	15.7
		LL	2.78	0.62	1.09	2.31	6.80	0.65	0.88	0.0010	1.5310	22.5
Guava	Control	UL	0.70	0.18	0.91	1.67	3.46	0.06	0.23	0.0043	0.2943	8.5
		LL	2.35	0.43	0.95	1.62	5.35	1.26	0.49	0.0011	1.7511	32.7
	Fumi-gated	UL	1.40	0.47	0.56	1.10	3.53	0.24	0.57	0.0010	0.8110	23.0
		LL	1.63	1.18	0.36	0.67	3.84	1.89	0.85	0.0019	2.7419	71.4

@ and @@ : Please see table 2a.

Table 2e. Chemical analysis for the plants of morning glory and gladiolus @@.

Plants	Treat-ments		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
			%					%				
Norning glory	Control	UL@	1.69	0.63	1.51	2.32	5.79	0.30	0.77	0.0017	1.0717	18.6
		LL	3.73	0.79	0.27	1.43	6.22	0.45	0.67	0.0027	1.1227	18.0
	Fumi-gated	UL	2.91	0.77	0.29	1.76	5.73	0.48	0.86	0.0013	1.3413	23.4
		LL	3.91	0.94	0.28	1.20	6.33	0.87	0.42	0.0027	1.2927	20.4
Glad-iolus	Control	UL	1.31	0.15	1.10	1.59	4.15	0.27	0.44	0.0015	0.7115	17.1
		LL	1.54	0.23	1.27	2.08	5.12	0.30	0.71	0.0018	1.0118	19.8
		WP	1.43	0.24	1.52	2.65	5.84	0.96	0.93	0.0010	1.8910	32.4
	Fumi-gated	UL	1.42	0.17	1.20	2.23	5.02	1.26	0.40	0.0011	1.6611	33.1
		LL	1.28	0.25	1.30	2.29	5.12	1.05	0.63	0.0011	1.6811	32.8
		WP	1.53	0.25	1.22	1.80	4.80	0.82	0.94	0.0012	1.7612	36.7

@ and @@ : Please see table 2a.

Table 2f. Chemical analysis for the plants of sesame @@

Plants	Treat-ments		Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2} soluble	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anions as% of basic element
			%					%				
Sesame	Control	UL@	2.31	1.66	0.53	1.27	5.77	0.66	0.62	0.0015	1.2815	22.2
		LL	2.35	1.64	0.43	1.16	5.58	0.87	0.58	0.0018	1.4518	26.0
		WP	2.33	1.61	0.46	1.11	5.51	0.93	0.65	0.0012	1.5812	28.7
	Fumi-gated	UL	2.60	1.46	0.43	1.36	5.85	1.53	0.54	0.0012	2.0712	35.4
		LL	2.49	1.53	0.47	1.30	5.79	1.05	0.61	0.0013	1.6613	28.7
		WP	1.84	1.35	0.41	1.40	5.00	0.93	0.73	0.0010	1.6610	33.2

@ and @@ : Please see table 2a.

(三)氯化物

從氯氣薰蒸結果發現，氯氣主要使唐菖蒲、落花生葉片發生退色現象，因而葉片表面產生許多界限不甚清楚之黃白色斑點，嚴重時葉緣和葉尖也發生枯死現象；蕨菜則在葉緣發生退色現象；葡萄在葉片上面產較大之褐斑。植物體分析結果(表3a至表3c)，上葉、下葉和全株之氯含量都以氯氣薰蒸處理較高，但其差異未達到顯著水準，鈉和其他元素也沒有明顯差異，表示氯氣對作物之外表症狀影響較大而植物體之氯含量卻增加不多。

600 ppm及900 ppm氯化鈉之噴施僅於下葉產生輕度之褐斑，但植物體之氯和鈉含量都極顯著高於對照和氯氣薰蒸處理(表3a至3c)，其他元素都沒有明顯差異，表示鹽水霧噴施可使植物體氯和鈉含量大幅增加，但其外表症狀並不一定很明顯。

所以從植物葉片受害外表症狀之觀察及植物體化學成分之分析結果，即可判斷是遭受氯氣或氯化鈉污染。

Table 3a. Chemical analysis for gladiolus plants.

Treat-ments	Plant parts	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} (%)	F^{-1} (%)	Cl^{-1} (%)	Total soluble anion	Anions as% of total bacic element
CK[@]	UL[@@]	0.37	0.18	0.26[c**]	2.55	3.36	0.18	0.0008	0.38[f**]	0.5608	17
	LL	0.42	0.17	0.27[bc]	2.70	3.56	0.43	0.0008	0.58[de]	1.0108	28
	WP	0.35	0.16	0.26[c]	2.44	3.21	0.24	0.0008	0.47[ef]	0.7108	22
CL	UL	0.38	0.20	0.25[c]	2.70	3.53	0.42	0.0008	0.49[ef]	0.9108	26
	LL	0.44	0.15	0.27[bc]	2.90	3.76	0.46	0.0009	0.70[cd]	1.1609	31
	WP	0.42	0.20	0.27[bc]	2.74	3.63	0.46	0.0008	0.59[de]	1.0508	29
NaCl 600	UL	0.37	0.15	0.33[a]	2.73	3.58	0.27	0.0009	1.04[a]	1.3109	37
	LL	0.43	0.16	0.33[a]	2.83	3.75	0.31	0.0009	1.04[a]	1.3509	36
	WP	0.37	0.15	0.33[a]	2.60	3.45	0.23	0.0008	0.84[bc]	1.0708	31
NaCl 900	UL	0.38	0.20	0.32[a]	2.70	3.60	0.31	0.0008	0.99[ab]	1.3008	36
	LL	0.45	0.17	0.31[ab]	3.11	4.04	0.54	0.0008	1.09[a]	1.6308	40
	WP	0.40	0.27	0.32[a]	2.79	3.78	0.44	0.0007	0.99[ab]	1.4307	38

[@] CK = control, Cl = chlorine gas fumigation, NaCl600 = 600ppm NaCl spray, NaCl900 = 900ppm NaCl spray.

[@@] UL = upper leaves, LL = lower leaves, WP = whole plant

** Significantly different at 1% level by Duncan's multiple range test.

Table 3b. Chemical analysis for peanut plants.

Treat-ments	Plant parts	Ca	Mg	Na %	K	Total basic element	SO_4^{-2}	F^{-1} %	Cl^{-1}	Total soluble anion	Anions as% of total bacic element
CK@	U L@@	0.74	0.57	0.19c**	1.65	3.15	0.46	0.0014	0.33c**	0.7914	25
	L L	0.89	0.50	0.18c	1.50	3.07	0.71	0.0015	0.33c	1.0415	34
	W P	0.56	0.42	0.20bc	1.46	2.64	0.47	0.0011	0.21c	0.6811	26
CL	U L	0.65	0.78	0.21abc	1.92	3.56	0.69	0.0011	0.34c	1.0311	29
	L L	0.74	0.61	0.20bc	1.70	3.25	0.92	0.0015	0.41c	1.3315	41
	W P	0.50	0.43	0.21abc	1.65	2.79	0.69	0.0010	0.22c	0.9110	33
NaCl 600	U L	0.71	0.47	0.21abc	1.93	3.32	0.37	0.0018	1.59a	1.9618	59
	L L	0.68	0.47	0.20ab	1.68	3.03	0.67	0.0029	1.46ab	2.1329	70
	W P	0.51	0.35	0.24ab	1.70	2.80	0.49	0.0022	1.09ab	1.5822	57
NaCl 900	U L	0.70	0.48	0.20bc	1.90	3.28	0.84	0.0016	1.39ab	2.2316	68
	L L	0.71	0.43	0.21abc	1.73	3.08	0.77	0.0019	1.40ab	2.1719	71
	W P	0.56	0.40	0.25a	1.72	2.93	0.59	0.0012	1.05b	1.6412	56

@, @@, **: See table 3a.

Table 3c. Chemical analysis for vegetable fern.

Treat-ments	Plant parts	Ca	Mg	Na %	K	Total basic element	SO_4^{-2}	F^{-1} %	Cl^{-1}	Total soluble anion	Anions as% of total bacic element
CK@	U L@@	0.47	0.37	0.35c**	2.99	4.18	1.56	0.0026	0.14b**	1.7026	41
	L L	0.49	0.45	0.37bc	2.96	4.27	1.29	0.0021	0.12b	1.4121	33
	W P	0.48	0.41	0.40bc	2.88	4.17	0.85	0.0016	0.10b	0.9516	23
CL	U L	0.51	0.40	0.32c	1.88	3.11	0.71	0.0010	0.16b	0.8710	28
	L L	0.51	0.40	0.33c	1.99	3.23	0.74	0.0012	0.13b	0.8712	27
	W P	0.45	0.37	0.33c	2.48	3.63	0.78	0.0009	0.10b	0.8809	24
NaCl 600	U L	0.41	0.38	0.46abc	2.89	4.14	1.21	0.0042	0.30ab	1.5142	37
	L L	0.43	0.33	0.51ab	2.79	4.06	1.27	0.0044	0.34ab	1.6144	40
	W P	0.40	0.31	0.56a	3.07	4.34	1.40	0.0032	0.29ab	1.6932	39
NaCl 900	U L	0.38	0.31	0.47abc	3.01	4.17	1.19	0.0030	0.33ab	1.5230	37
	L L	0.46	0.38	0.58a	2.94	4.36	1.64	0.0028	0.42a	2.0628	47
	W P	0.41	0.26	0.56a	2.84	4.07	1.39	0.0020	0.28ab	1.6720	41

@, @@, **: See table 3a.

引用文獻

李國欽、李貽華. 1984. 空氣污染爲害植物之診斷 臺灣植物保護中心.

孫岩章. 1985. 臺灣地區之空氣污染物質. 公害對農業生產之影響研討會論文專集. p.119～133 臺灣省農業藥物毒物試驗所印行.

莊進源、孫岩章. 1984. 空氣污染公害之鑑定技術及圖鑑. 行政院衛生署環境保護局。

陳清義、陳明義等. 1981. 空氣污染影響作物之試驗研究. 臺灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告 p.50～57. 臺灣省環境衛生實驗所.

廖乾華. 1985. 窯業工廠廢氣對農作物損害的受害症狀及產量的影響. 公害對農業生產之影響研討會論文專集. p.49～58. 臺灣省農業藥物毒物試驗所印行.

鄭榮賢. 1985. 水泥廠煙灰對農作物及土壤之影響. 公害對農業生產之影響研討會論文專集. p33～40. 臺灣省農業藥物毒物試驗所.

鍾旭和. 1985. 空氣污染對林木之影響. 公害對農業生產之影響研討會論文專集. p.1～32. 臺灣省農業藥物毒物試驗所.

謝慶芳. 1988. 指標作物監測空氣污染試驗. 臺中區農業改良場特刊第11號.

謝慶芳. 1991. 如何栽培指標植物以監測空氣污染. 臺中區農業改良場編印.

羅美棧、張隆成、黃孝信. 1981. 空氣污染影響農業實況調查. 農灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告. p7～13. 臺灣省環境衛生實驗所.

羅美棧、張隆成、黃孝信. 1981. 苗栗縣竹南、頭份地區空氣污染改善. 臺灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告. p.14～49. 臺灣省環境衛生實驗所.

山添文雄. 1962. 弗化水素による煙害の實態ならびの機作に關する研究. 農技研報告 B12：1－125.

山添文雄. 1975. 大氣污染. 環境污染と農業. p.25～93. 博文社。

山添文雄　眞弓洋一. 1975. 大氣污染による植物被害の鑑定法に關する研究. 農技研報告 B27：1－60.

中村拓. 1979. 大氣污染の植物への障害の作用機作.　大氣環境の變化と植物(山本義一監修). p.133～146.　東京大學出版會.

谷山鐵郎. 1979. 硫黃酸化物とイネ. 大氣環境の變化と植物(山本義一監修). p.95～112. 東京大學出版會.

坂井弘. 1974. 大氣污染. 農業公害ハンドブツワ. p.1～52. 地人書館.

涉谷政夫等. 1975. 大氣污染. 環境污染と農業(博友社). p.25-93.

Bertolacini, R.J. and J.E. Barney II. 1957. Colorimetric determination of sulfate with barium chloranilate. Anal. Chem. 29：281－283.

Bertolacini, R.J. and J.E. Barney II. 1958. Ultraviolet spectrophotomertric determination of sulfate, chloride and fluoride with chloranilic acid. Anal. Chem. 30：202－205.

Bieberdorf, F.W., C.L. Shrewsbury, H.L. Mckee and H.L.Krough. 1957. Vegetation as an indicator of air pollution, Part.1 The pine (Pinus taeda). Bull. Torrey Bot. Club 85 : 197 – 200.

Brewer, R.F. 1966. Fluorine. p. 180 – 196. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. H. D. Chapman, ed.

Heck, W.W. and C.S. Brandt. 1977. Effects of air pollutin on vegetaion: Native, Crops, Forests. p. 157 – 230. In : Air Pollution A.C.Stern, ed. Academic Press, New York.

Johnson, D.W., G.S. Henderson, D.D. Huff, S.E. Lindberg, D.D. Richter, D.S. Shriner, D.E. Todd and J. Turner. 1982. Cycling of organic and inorganic sulfur in a chestnut oak forest. Oecologia (Berl.) 54 : 141 – 148.

Kelly, J. and M.J. Lambert. 1972. The relationship between sulphur and nitrogen in the foliage of Pinus rasiata. Plant Soil 37 : 395 – 407.

Ogiso, T., T. Matsui and H. Inoue. 1966. Observation of air pollution J. Hygi. Chemi. (Japan) 12 : 156 – 160.

Ogiso, T. 1967. Observation of air pollution in the district of china manufacturing. II On the fluorine contents in raw materials of china and fluorine in air determined by alkaline filter paper method. J. Hygi. Chemi. (Japan) 13 : 143～147.

Page, A. L. *et al.* 1982. Soluble fluorine and sulfur. p. 472 – 473, 501 – 538. In : Methods of Soil Analysis. Amer. Soc. Agronomy.

Rao, M.N. and H.V.N Rao. 1989. Effects of air pollution on plants. p. 61 – 69. In: Air Pollution. Tata McGraw – Hill Punlishing Company Limited, New Delhi.

Richards, L. A. 1969. Methods of plant culture and plant analysis. p.133 – 134. In: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.

Richter, D.D. and D.W. Johnson. 1983. Determination of inorganic sulfate in foliage with barium chloranilate. Soil Sci. Soc. Am. J. 47 : 522 – 524.

Smith, William H. 1981. Forest Stress : Symptonatic foliar damage caused by air contaminants. p.267 – 295. In : Air Pollution and Forests.

Sun, E. J. and H. J. Su 1985. Fluoride injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. Environmental Pollution (series A) 37 : 335 – 342, Bureau of Environmeutal Protection, ROC.

Sun, E. J. 1989. Sweet potato used as a biological indicator for acute air pollution injury. Plant Protection Bulletin. 31 : 248～255.